



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 40 244 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 L 13/06
G 01 L 19/02
H 01 L 49/00

⑳ Aktenzeichen: 197 40 244.5
㉑ Anmeldetag: 12. 9. 97
㉒ Offenlegungstag: 26. 2. 98

DE 197 40 244 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

㉑ Anmelder:
Bethe, Klaus, Prof. Dr.-Ing., 38116 Braunschweig, DE

㉒ Erfinder:
gleich Anmelder

⑤⑤ Entgegenhaltungen:
DE 42 27 819 A1
US 41 49 822
EP 04 38 373 A2
WO 94 17 383

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Beschleunigungs-unempfindlicher, planarer Differenzdruck-Sensor in Mikrotechnik

⑤⑦ Die Erfindung betrifft einen beschleunigungsunempfindlichen Differenzdruck-Sensor in planarer Mikrotechnik, bei dem nur eine minimale, z. B. um den Faktor 2 reduzierte Anzahl von Schichten erforderlich ist. Dies wird erreicht durch einen gefalteten Aufbau, bei dem 2 getrennte druck-/kraftwandelnde Kavitäten in einer Ebene nebeneinanderliegend in gleicher Richtung mit den beiden Meßdrücken beaufschlagt werden. Die beiden membrangedichteten Kolben derselben werden über einen mittig verkipptbar gelagerten Waagbalken differenzbildend miteinander verbunden. In der Ebene der Kavitäten sind auch die - z. B. kapazitiven - Verlagerungssensoren platziert. Unterschiedliche Hebelarme für die druckproportionalen Kräfte und die Verlagerungssensoren bewirken eine sehr vorteilhafte Kraft-/Weg-Transformation.

Durch die laterale Anordnung aller Komponenten anstelle des üblichen Axial-Aufbaus erhält man außerdem bei Symmetrie eine Unempfindlichkeit gegenüber Beschleunigungen in Richtung des Meßdruckes, eine geeignete Höhen-Positionierung des Waagbalkens-Drehpunktes bezüglich des System-Schwerpunktes schließlich eliminiert auch die restliche Beschleunigungs-Sensitivität in Richtung des Waagbalkens.

DE 197 40 244 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01.88 702 069/629

4/24

Stand der Technik

Die weitverbreiteten klassischen, d. h. feinmechanischen Differenzdruck-Aufnehmer (Durchfluß-Füllstands- oder Staudruckmessung) sind im allgemeinen in Axialbauweise realisiert: Die beiden Meßdrücke wirken auf 2 Verformungskörper derart, daß die beiden resultierenden Kräfte längs einer gemeinsamen Achse gegensinnig auftreten. Die zu messende Nettokraft wird meist via elastische Deformation + Wegsensor/DMS bestimmt. Oft werden die beiden o.g. Membranen auch zu einer einzigen vereinigt, die dann von beiden Seiten den jeweiligen Meßdrücken ausgesetzt wird.

Bisherige mikromechanische Differenzdruck-Sensoren sind ebenfalls nach diesem klassischen Axialkonzept realisiert, wobei alle erforderlichen Meß- und Trennmembranen parallel zur Substrat-Oberfläche angeordnet sind (z. B. DE 42 27 819 A1 oder WO 94/17383).

Ein Nachteil des beschriebenen und allgemein eingesetzten axialen Bauprinzips ist die u. U. deutliche Beschleunigungs-Empfindlichkeit längs der Kraft-Meßachse. Bei den mikromechanischen Realisierungen dieses Konzepts kommt als weiteres, besonders gravierendes Problem hinzu, daß eine ganz erhebliche Anzahl von Schichten erforderlich ist, um die 2 übereinanderliegenden Meßkammern aufzubauen. Die oftmals applikationsbestimmte Erfordernis einer Trennung zwischen der medienberührten Druckkammer und dem elektrischen Verformungssensor bedingt weitere Schichten, also eine noch kompliziertere Technologie, stets verbunden mit Ausbeute- und Toleranzproblemen.

Beide genannten Nachteile, also Querempfindlichkeit gegenüber Beschleunigungskräften, insbesondere aber die hohe Zahl von übereinandergetürmten Schichten eines Axialaufbaus mit Druckzellen-Sandwich und elektrischen Deformationssensoren werden bei dem erfindungsgemäßen mikromechanischen Differenzdrucksensor durch seinen gefalteten, planarlateralen Aufbau vermieden. Die Zahl der erforderlichen Schichten wird durch diese Ein-Ebenen-Anordnung der 2 Druckwandler-Kavitäten und der Verlagerungssensoren um den Faktor 2 bis 4 reduziert. Die Trennung von Druckkavität und elektrischem Verlagerungssensor ergibt sich hier zwangsläufig. Ein weiterer entscheidender Vorteil der Waagbalken-Konstruktion liegt in einer einfach realisierbaren Kraft-/Weg-Transformation durch Wahl unterschiedlicher Hebelarm-Längen für den die Druckkraft liefernden membrangedichteten Kolben einerseits und das Verlagerungs-Meßsystem andererseits. Nachteilig bei der neuen Konstruktion ist allerdings eine nur mäßige Toleranz gegenüber höheren Basis-Drücken.

Das auch in dieser Erfindung eingesetzte Konstruktionskonzept mit 2 gleichgerichteten Einzel-Druckkapseln und Kraftumkehr mittels Waagbalken ist im Prinzip bereits bekannt und wurde z. B. von der US-Firma "Paroscientific" in feinmechanischer Montagetechnik unter Verwendung zweier Faltenbälge und eines Schwingquarz-Kraftaufnehmers realisiert.

Beschreibung anhand Zeichnungen

In den Zeichnungen Fig. 1 bis 3 werden das Prinzip (Fig. 1 und 2) und eine konkrete Ausführung des erfindungsgemäßen Differentialdrucksensors gezeigt (Fig. 3a, 3b, 3c).

Fig. 1 zeigt eine Seitenansicht (Mittelschnitt) des Grundprinzips: Eine starre Grundplatte 1 ("Substrat") bildet zusammen mit den beiden Kolben 2, 2' und den Membrandichtungen 3, 3' die 2 Druckkavitäten 4, 4'. Diesen werden die beiden Meßdrücke P_1 und P_2 durch die Grundplattenbohrungen 5, 5' zugeführt. Mechanisch verbunden werden die beiden druckkrafttragenden Kolben 4, 4' durch den steifen Waagbalken 6, der mittig infolge der elastischen Dünnstelle 7 verkippbar ist um den Winkel ϕ . Die derart resultierende Verkippung des Waagbalkens 6 bei unterschiedlichen Meßdrücken P_1 und P_2 wird mittels der 2 kapazitiven Abstandssensoren 8, 8' in Änderungen der Kapazitäten C_1 und C_2 abgebildet. Dieser Sensor kann (wie die in Fig. 2 und 3 gezeigten) im Ausschlagmodus oder im Kompensatormodus (Anspruch 9) betrieben werden. Im zweiten, besonders vorteilhaften Fall ist das Roh-Ausgangssignal, welches sich durch den Unterschied C_1 und C_2 ergibt, in einem Regelkreis in eine höhere Spannung als Stellgröße umzusetzen, welche schließlich mittels elektrostatischer Kraft eine Rückstellung, also Kompensation des ursprünglichen Roh-Ausschlages bewirkt.

Gegenüber dem in Fig. 1 gezeigten Grundkonzept weist die in Fig. 2 dargestellte praxisnähere lineare Planarordnung folgende Vorteile auf:

- Entfall einer Schicht
- Abschirmung der Meßkondensatoren
- Kraft-/Wegtransformation um l_p/l_c

Hier ist der Waagbalken 6'' über die Druckkolben-Zentren hinaus verlängert bis zu den Abstandssensoren 8'', 8'''. Diese sind vom Drehpunkt 7 um die Länge l_c entfernt, die erheblich größer ist als der Krafthebelarm l_p und die sich beliebig weiter vergrößern läßt.

Der in Fig. 3 exemplarisch gezeigte mikromechanische Realisaufbau ist durch den seitlichen Schnitt BB' (Fig. 3a), durch einen waagerechten Schnitt AA' (Fig. 3b) und durch die Draufsicht (Fig. 3c) verdeutlicht: Das Substrat 1* (z. B. Si, dotiert) trägt die 3 elastischen Wände 9, 9', 9'' (z. B. elektrolytisch in der strukturierten ersten Opferschicht aus Photolack abgeschiedenes Ni-Cu). Diese Wände tragen ihrerseits die dünne Metallmembrane 10, die in Dünnschichttechnik auf der genannten zu opfernden Photolackschicht abgeschieden ist. Nach Strukturierung von 10 wird die zweite Opferschicht 11 (z. B. Al) ebenfalls in Dünnschichttechnik aufgebracht und ihrerseits photostrukturiert. Als letztes ist, wieder z. B. in Dünnschichttechnik, die als starrer Waagbalken über dem gesamten System ausgebreitete nichtleitende Deckschicht 6* deponiert. Das Entfernen der zweiten Opferschicht (11) isoliert einerseits die beiden Kondensator-Elektroden 12, 12* für C_1 , C_2 , zum anderen werden die kolbendichtenden Membranen 13, 13* wie auch das zentrale Gelenk 7* freigelegt.

In dem waagerechten Schnitt AA' (Fig. 3b) ist die zweite Opferschicht 11 entfernt. Man erkennt die beiden oberen Kondensatorbeläge 12, 12* sowie die Membranschicht 10, allseitig am Außenrand durch die Wände 9 abgestützt, und schließlich die Kolbenflächen 4*, 4''.

Die in Fig. 3c gezeigte Draufsicht zeigt die die Innenstruktur verschliffen wellig wiedergebende Deckschicht 6*, den "Waagbalken". Die schmalen, in der Mitte seitlich gezeigten Streifen können auch gemäß Anspruch 5 in stützende Torsionsbalken umkonstruiert werden.

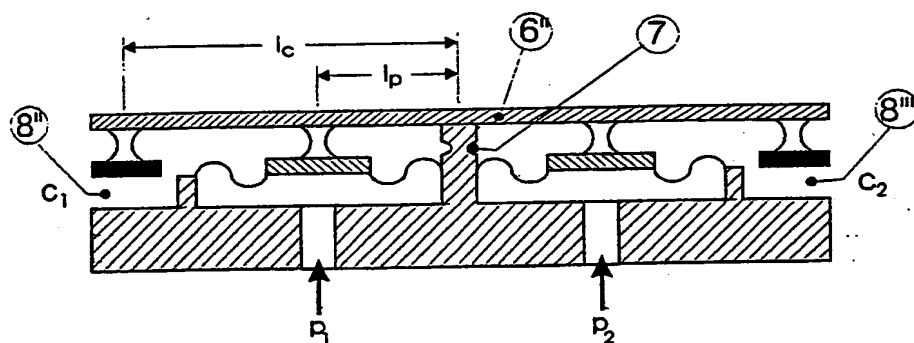
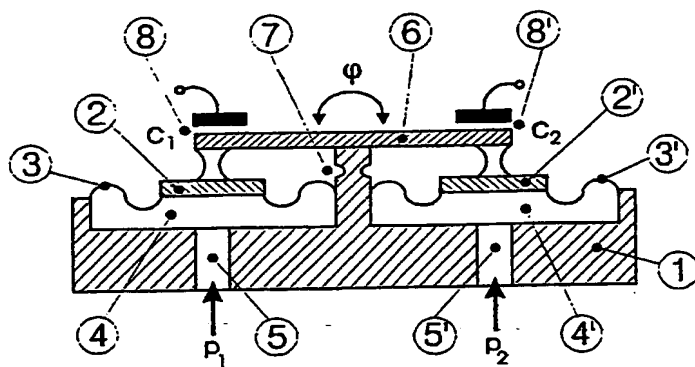
1. Differenz-Drucksensor mit 2 getrennten, in gleicher Richtung druckbeaufschlagten Druck-/Kraftwandlern, die kraftseitig über einen verkippt gelagerten Waagbalken miteinander differenzbildend verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem in planarer Mikrotechnik ausgeführten Sensor auf einem ebenen Träger nebeneinander vorzugsweise in einer Reihe sowohl wenigstens 2, je mit einem der beiden Meßdrücke zu beaufschlagende teilelastische Kavitäten als auch die separaten Verlagerungsaufnehmer angebracht sind und daß dieses gesamte System von einer starren, elastisch gelagerten Deckschicht als Waagbalken überdeckt ist, welche zugleich an ihren beiden Außenenden die Anker der Verlagerungsaufnehmer betätigt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die beiden einzelnen Druck-/Kraftwandler zusammen mit ihrem jeweiligen beweglichen Teil des Verlagerungssensor-System das Produkt aus Masse und Hebelarm gleich ist, um bezüglich der Kraftachse Beschleunigungsinvarianz zu erreichen.
3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehpunkt des Waagbalkens in den horizontalen Schwerpunkt des gesamten beweglichen Systemteils fällt, um zusätzlich eine horizontale Beschleunigungs-Invarianz zu erreichen.
4. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgende dadurch gekennzeichnet, daß der elastische Drehpunkt als zweiseitig eingespanntes Blattfeder-Element oder als Blattfeder-Kreuzgelenk ausgebildet ist.
5. Anordnung nach Anspruch 4, und/oder folgende dadurch gekennzeichnet, daß das elastische Blattfeder-Lager durch seitlich angebrachte Torsionsbalken zusätzlich abgestützt ist.
6. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgendem dadurch gekennzeichnet, daß der Druckaufnehmer in Oberflächen-Mikromechanik unter Verwendung von Opferschichten realisiert ist.
7. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgende, dadurch gekennzeichnet, daß der Druckaufnehmer durch Bulk-Mikromechanik realisiert wird.
8. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgende, dadurch gekennzeichnet, daß die der zu messenden Druckdifferenz proportionale Auslenkung des elastisch gelagerten Waagbalkens durch kapazitive oder optische Sensoren oder Tunnelstrom-Abstandssensoren — jeweils vorzugsweise in Differentialanordnung — bestimmt wird.
9. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgende, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kompensationsmessung ermöglicht wird, indem die zur Messung der lastproportionalen Balkenauslenkung verwendeten Kondensatoren mittels einer der Meßspannung überlagerten größeren zweiten Spannung anderer Frequenz zugleich eine Gegenkraft auf den Waagbalken ausüben und daß diese Gegenkraft über einen Regelkreis zur Kompensation der ursprünglichen Auslenkung des Waagbalkens führt.
10. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgende, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kraft-/Wegtransformation derart erfolgt, daß der die Kraftdifferenz bildende, die beiden separaten Drucksensoren verbindende Waagbalken über die Drucksensoren hinaus verlängert ist und an seinen äußersten

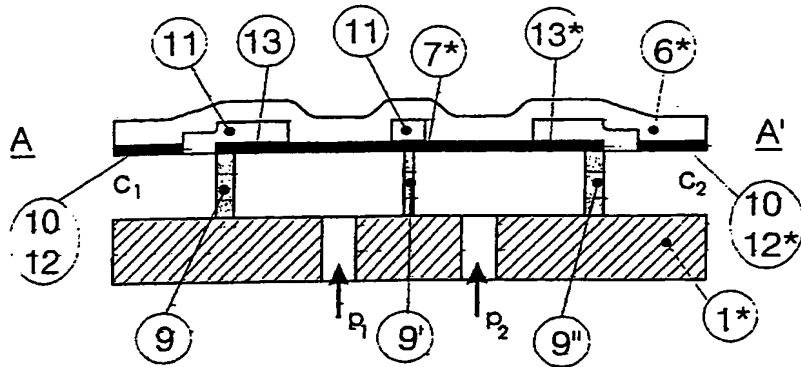
Enden die Meßkondensatoren trägt, während die Kraftangriffspunkte der beiden Einzel-Drucksensor-Kavitäten über kürzere Hebelarme auf dem Waagbalken angreifen.

11. Anordnung nach Anspruch 1, und/oder folgende, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden durch die Einzeldrücke belasteten Druck-/Kraftumsetzer der 2 separaten Drucksensoren unterschiedliche Wirkflächen aufweisen oder über unterschiedliche Hebelarme an dem Waagbalken angreifen, um so unterschiedliche Drücke miteinander vergleichen zu können.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

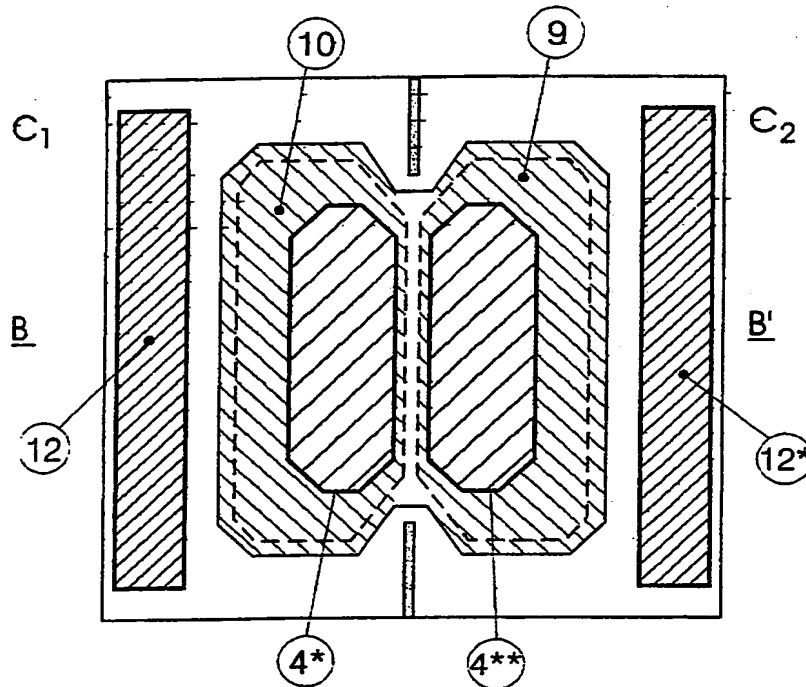
- Leerseite -





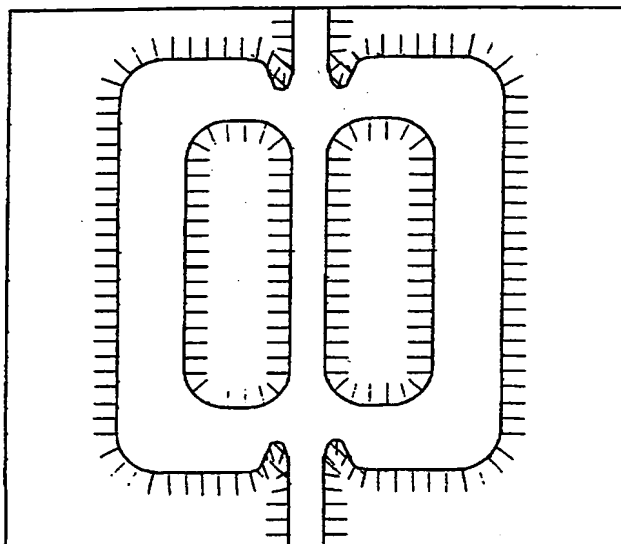
3a

Seitenschnitt BB'



3b

Waagerechter Schnitt
Schnitthöhe AA'



3c

Draufsicht